NATIONAL AMBIENT AIR QUALITY OBJECTIVES FOR CARBON MONOXIDE

Desirable, Acceptable & Tolerable Levels

EXECUTIVE SUMMARY

A Report by the CEPA/FPAC Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines

This report is published under Section 8 of the *Canadian Environmental Protection Act* (CEPA). Any inquiries concerning this publication or requests for copies should be directed to either of the following officials:

Director
Science Assessment and
Policy Integration Division
Atmospheric Environment Service
Environment Canada
4905 Dufferin Street
Toronto, Ontario M3H 5T4

Director
Bureau of Chemical Hazards
Environmental Health Centre
Health Canada
Tunney's Pasture
Ottawa, Ontario K1A 0L2

This report has been prepared by the following people:

F. Hopper (Atmospheric Environment Service, Environment Canada)
S. MacDonald (Health Canada)
M. Shepherd (Atmospheric Environment Service, Environment Canada)
K. Wilby (Health Canada)
P. Wong (Ontario Ministry of Environment and Energy)

The Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines wishes to acknowledge the following people for their contribution:

M. Bourgeau (Health Canada)
B. Jessiman (Health Canada)
G. Wood (Health Canada)

November 1994
ISBN 0-662-25642-5
Catalogue En42-17/1-1997E

Context

The *Canadian Environmental Protection Act* (CEPA), passed into law in 1988, replaces and builds upon the *Clean Air Act* and the *Environmental Contaminants Act*. The opening statement of CEPA declares that "the protection of the environment is essential to the well-being of Canada." CEPA allows the federal government to assess substances and control their impact through national environmental quality objectives, guidelines, codes of practice, and/or regulations.

Provincial governments have the primary responsibility in many areas of air pollution control, with federal actions integrated with those of the provinces. The CEPA Federal–Provincial Advisory Committee Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines reviews and recommends ambient air quality objectives. Development follows a process that integrates the review of physical and chemical properties, sources, environmental, animal, and human health effects, and environmental and human exposure assessment within a framework of risk assessment.

Canada's National Ambient Air Quality Objectives (NAAQOs) prescribe targets for air quality, measured at the relevant receptor (persons, plants, animals, materials). These targets may incorporate some element of cost–benefit–risk, reflecting a philosophy of environmental health protection and long-term risk reduction while recognizing technological and economical limits. Consequently, the resulting objectives may be set above a level at which no effects are observed. The objectives are established to provide background information, a uniform scale for assessing the quality of air in all parts of Canada, and guidance to governments for making risk management decisions, such as planning control strategies and setting local standards.

Three ranges of air quality are prescribed — "desirable," "acceptable," and "tolerable." The numerical values for the highest levels of contaminant in each range are based on the following qualitative definitions:

- The **maximum desirable level** is the long-term goal for air quality and provides a basis for an anti-degradation policy for unpolluted parts of the country and for the continuing development of pollution control technology.

- The **maximum acceptable level** is intended to provide adequate protection against effects on soil, water, vegetation, materials, animals, visibility, and personal comfort and well-being.

- The **maximum tolerable level** denotes time-based concentrations of air contaminants beyond which, owing to a diminishing margin of safety, appropriate action is required without delay to protect the health of the general population.

The process of establishing air quality objectives is a dynamic and continuous one. Ambient air quality objectives were published in the Canada Gazette Part 1 in August, 1989. No changes were made to the objectives which were prescribed between 1974 and 1978 (Fisheries & Oceans, 1971).

This report is a review of the science in support of the desirable, acceptable, and tolerable levels for carbon monoxide (CO) by the CEPA/FPAC Working Group on Air Quality Objectives and Guidelines.

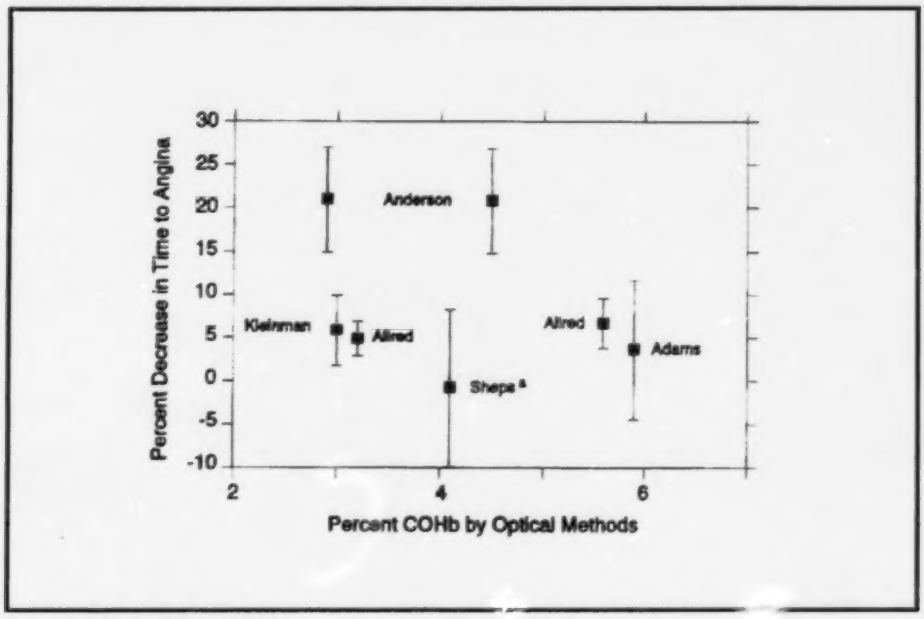
Summary of Scientific Evidence

Cardiorespiratory effects in people with exercise-induced myocardial ischemia are the health effects of greatest concern. Figure 1 illustrates the effect of carbon monoxide exposure on time to onset of angina in the five key studies discussed above in the section entitled "Effects on Human Health". The figure accommodates the most important differences between studies by presenting the data as mean percent differences between air exposures and carbon monoxide exposures for individual subjects from each study, using COHb levels that were measured at the end of the carbon monoxide exposure by optical methods only. Under these conditions, the five studies show a consistent relationship between increasing COHb levels and time to onset of angina. Post-exposure COHb levels ranging from 2.9 to 5.9%, representing incremental increases of 1.5–4.4% COHb from pre-exposure baseline levels, are shown.

These ranges must still be interpreted with caution, owing to differences in study design and the lack of precision in optical measurements of COHb at low blood COHb levels. In addition, studies on cardiorespiratory effects are difficult to interpret, owing to differences in study design, type of exercise test used, criteria used for including patients in the study, and exposure conditions (U.S. EPA, 1991). The time of measurement of COHb levels (i.e., at the end of the carbon monoxide exposure or at the time of the angina) and the methods used for measuring COHb levels (i.e., gas chromatography or spectrophotometry) yield varying results and make it difficult to compare COHb levels reported in different studies. Mennear (1993), for example, stated that the gas chromatographic method used for measuring COHb in the Allred et al. (1989) study may be more precise than the spectrophotometric technique generally used, but that it gives a lower value for COHb, as indicated by the fact that the baseline COHb level in the Allred et al. (1989) study is about half the usual baseline value.

It has been argued that reductions in exercise capacity associated with carbon monoxide exposure lack clinical significance, as the changes are small relative to the range of reproducibility of exercise stress tests used in the various studies. Others have argued that the effects, if real, could limit the daily activities of susceptible individuals and affect their quality of life. Studies showing a relationship between low COHb levels and exercise-induced arrhythmia in patients with coronary artery disease suggest that carbon monoxide exposure may increase the risk of sudden death from arrhythmia. The dose–response relationship between COHb and ischemia reported by Allred et al. (1989) suggests that small increases in COHb levels could adversely affect myocardial function and produce ischemia, and that this relationship may lack a threshold.

Figure 1. The Effect of Exposure to Carbon Monoxide on the Time to Onset of Angina in Five Key Studies



Source: U.S. EPA, 1991

Note:
Data are presented as mean percent differences between air and carbon monoxide exposures for individual subjects calculated from each study. Bars indicate calculated standard errors of the mean. Alternative analysis of the Sheps data indicates a significant decrease in time to onset of angina at 4.1% COHb if subjects that did not experience exercise-induced angina during air exposure were included in the analysis.

COHb Levels of Concern

Cardiorespiratory effects have consistently been observed at COHb levels below 6% in the blood and have been associated with carbon monoxide exposures at levels observed in ambient air. On the other hand, neurobehavioural effects and developmental toxicity effects in people have not been reported below COHb levels of 5%. A COHb level in blood as low as 2.9% may be associated with adverse cardiorespiratory effects in individuals with ischemic heart disease. Mennear (1993) reviewed the literature in a study of the possible relationship between carbon monoxide exposure, arising from environmental tobacco smoke, and exacerbation of ischemic heart disease. He determined that a level of 2.5% COHb in blood was a conservative estimate of a no-effect level for carbon monoxide toxicity, even among people having ischemic heart disease. Although the Allred et al. (1989) study reports a lower effect level of 2.0%, as measured by gas chromatography at the end of the exercise test, the measurement technique used has been questioned in terms of its accuracy in measuring absolute COHb levels (Mennear, 1993). Therefore, objectives developed to protect the subpopulation sensitive to cardiorespiratory effects are expected to provide an adequate margin of safety for the general population with respect to neurobehavioural and developmental toxicity effects.

Taking into consideration uncertainties in the available data and using the most conservative assumptions, it is recommended that maximum desirable levels be chosen such that they result in a COHb blood level of less than 1%, which is considered to be in the upper end of the range of baseline COHb levels resulting from endogenous production in normal, non-smoking individuals (Urbanetti, 1981). The maximum acceptable levels should be chosen to result in a COHb blood level of 2.0%, which is the lowest-observed effect level (LOEL) measured by gas chromatography at the end of exercise (Allred et al., 1989). This can be interpreted as providing a margin of safety as it is one third lower than 3% COHb (measured by optical methods at the end of exposure) suggested as a LOEL by Anderson et al. (1973), Kleinman et al. (1989), and Allred et al. (1989). Maximum tolerable levels should be selected such that a blood COHb level of about 2.5%, which is still considered to be a population-based no-effect level in most studies (e.g., Mennear, 1993), is not exceeded.

The PBPK model of Coburn, Forster, and Kane is a reliable method for predicting COHb blood levels for exposure to a given ambient carbon monoxide concentration. This model has been extensively validated over many years. Precision is acceptable, providing that the original conditions of use are rigorously applied. Blood COHb level is influenced by baseline COHb level, blood hemoglobin level, minute ventilation, diffusion capacity of the lungs, and mean oxygen tension in pulmonary capillaries (Coburn et al., 1965), all of which vary among members of the population. As a consequence of these factors, exposure to the same concentration of carbon monoxide may result in different COHb levels in different individuals. Exposure is a function of carbon monoxide concentrations in ambient and indoor air, the duration of exposure to carbon monoxide, as well as initial COHb levels, such that differences in the COHb levels within the population can also be attributed to differences in the levels of exposure and the range of exposures experienced.

Exposure to Carbon Monoxide

The impact of indoor sources on exposure and COHb levels in Toronto has been clearly shown. Time-activity pattern studies revealed that people generally spend 20 hours indoors and 4 hours outdoors (U.S. EPA, 1991). People generally experience various carbon monoxide levels during their normal daily activities while changing from one microenvironment to another. The Denver-Washington study results showed that the effects of personal activity and indoor sources have a significant impact on personal exposure (Akland et al., 1985). Cooking with gas increases personal exposure to carbon monoxide, as does working in an office or living in a residence with smoking activity (Ott et al., 1988). While sleeping in the bedroom, people in Los Angeles were exposed to an average of 2.1 ppm (Lambert et al., 1991) and Denver residents were exposed to an average of 1.5 ppm (n = 6681) (Ott et al., 1988). Time spent indoors is therefore an important pathway of exposure to carbon monoxide. Indoor levels of carbon monoxide are influenced by outdoor levels, infiltration and ventilation rates, indoor sources, and air mixing between and within rooms (U.S. EPA, 1991). Outdoor levels of carbon monoxide are a function of the transportation category, which accounts for about 67% of the national carbon monoxide emissions (Kosteltz and Deslauriers, 1990).

Results of the field studies also showed that carbon monoxide levels determined with PEMs were higher than those recorded at fixed-site monitoring stations (Akland et al., 1985; Holland, 1983; Ott & Flachsbart, 1982). Estimates of exposure for the Toronto population in 1991 indicate that less than 1% of the population experienced 1-hour daily maximum averages above 25 ppm; approximately 2% experienced 8-hour daily maximum carbon monoxide exposures above 13 ppm. When compared with exceedances measured at the fixed-site monitors, concentrations and personal exposures averaged over 8-hours were related. Personal exposures to carbon monoxide averaged over 1-hour were not closely related to concentrations measured at the fixed-site.

These results, and others presented earlier, indicate that personal exposure to carbon monoxide does not directly correlate with ambient carbon monoxide concentrations recorded at fixed sites. During their normal daily activities, people move from one microenvironment to another. As described previously, carbon monoxide levels in each of these microenvironments differ, so that people experience various daily carbon monoxide exposures. The greatest carbon monoxide exposure for most people occurs in the vehicle and indoor microenvironments associated with combustion sources (U.S. EPA, 1991). Even though these studies have been performed in the United States, they are still very good indicators of carbon monoxide levels to which Canadian people might be exposed in various microenvironments.

Populations at Risk

Lifestyle and genetic factors combine to increase the likelihood of health effects from carbon monoxide exposure. Age, behaviour, differences in activity patterns, sex, and other factors that determine an individual's ability to deal with environmental insults result in a distribution of response.

Currently available evidence suggests that individuals with heart disease, including stable exercise-induced angina, coronary artery disease, and ischemic heart disease, represent the population at greatest risk from exposure to ambient carbon monoxide levels. In addition, population groups with either increased probability or increased severity of health effects include pregnant women, fetuses and young infants, individuals with anemia or respiratory disease, the elderly, children, and persons with peripheral vascular disease and chronic obstructive lung disease.

The extensive personal exposure field studies revealed that persons working outside the home, persons with high occupational exposure (truck drivers, taxi drivers, bus drivers, automobile mechanics, garage workers, policemen), and commuters — particularly those travelling >6 hours per week — had significantly higher exposures ($p = 0.05$) than their respective counterparts (Akland et al., 1985; Johnson, 1984). In addition, with over 2000 indoor arenas in Canada, professional and recreational athletes, spectators, and workers may be exposed to high levels of carbon monoxide.

Recommendations

The choice of National Ambient Air Quality Objectives for carbon monoxide is based upon the clinical significance of health effects of concern, the number of people requiring protection, and the relationship between COHb levels, exposure, and ambient carbon monoxide levels.

COHb levels are a biomarker for the toxicity of ambient-level exposures to carbon monoxide and are used as an indicator of carbon monoxide exposure. Although more research is needed to evaluate the predictive capabilities of the CFK model in individuals exposed to low concentrations of carbon monoxide and its applicability to sensitive subpopulation (U.S. EPA, 1991), it is the best model available at present, and it will be used here to estimate appropriate National Ambient Air Quality Objectives for carbon monoxide. However, it must be remembered that models provide estimates based upon small numbers of representative measurements.

Recommended National Ambient Air Quality Objectives, ppm (mg/m^3) [a]

Averaging Times	Maximum Desirable Level	Maximum Acceptable Level	Maximum Tolerable Level
1 hour	13 (15)	30 (35)	n/a
8 hours[b]	5 (6)	13 (15)	17.4 (20)

[a] 1 ppm = 1.146 mg CO/m^3

[b] rolling average

The maximum desirable levels are based on the carbon monoxide concentration that will result in a carboxyhemoglobin (COHb) blood level of less than 1%, or the upper end of the range of baseline COHb levels resulting from endogenous production. Based on the Coburn-Foster-Kane (CFK) equation, a 1-hour exposure of 13 ppm or an 8-hour exposure of 5 ppm would lead to less than 1 % COHB.

The recommended maximum acceptable levels for carbon monoxide are 30 ppm averaged over 1-hour and 13 ppm as an 8-hour rolling average. Results from five recent studies in 3 laboratories were consistent in finding adverse effects of COHb levels ranging from 2.9% to 6% (as measured by CO-Oximeter) or as low as 2% (as measured by gas chromatography) on exercise induced angina and on ECG (electrocardiogram) values. CO levels averaging 13 ppm over 8 hours or 30 ppm over 1 hour resulted in COHb levels at or below 2% for adults performing light work (ventilation rate of 18L/m).

Therefore, the maximum acceptable levels are based on the maintenance of COHb levels of less than 2%, thereby providing a small margin of safety. At levels above these concentrations, action would be required to decrease the probability or severity of effects in sensitive populations. Estimating COHb levels using pNEM indicates that less than 1% of the Toronto study area population will experience COHb levels greater than 2.0% if the ambient air quality is less than or equal to 13 ppm (15 mg/m^3) measured over 8 hours.

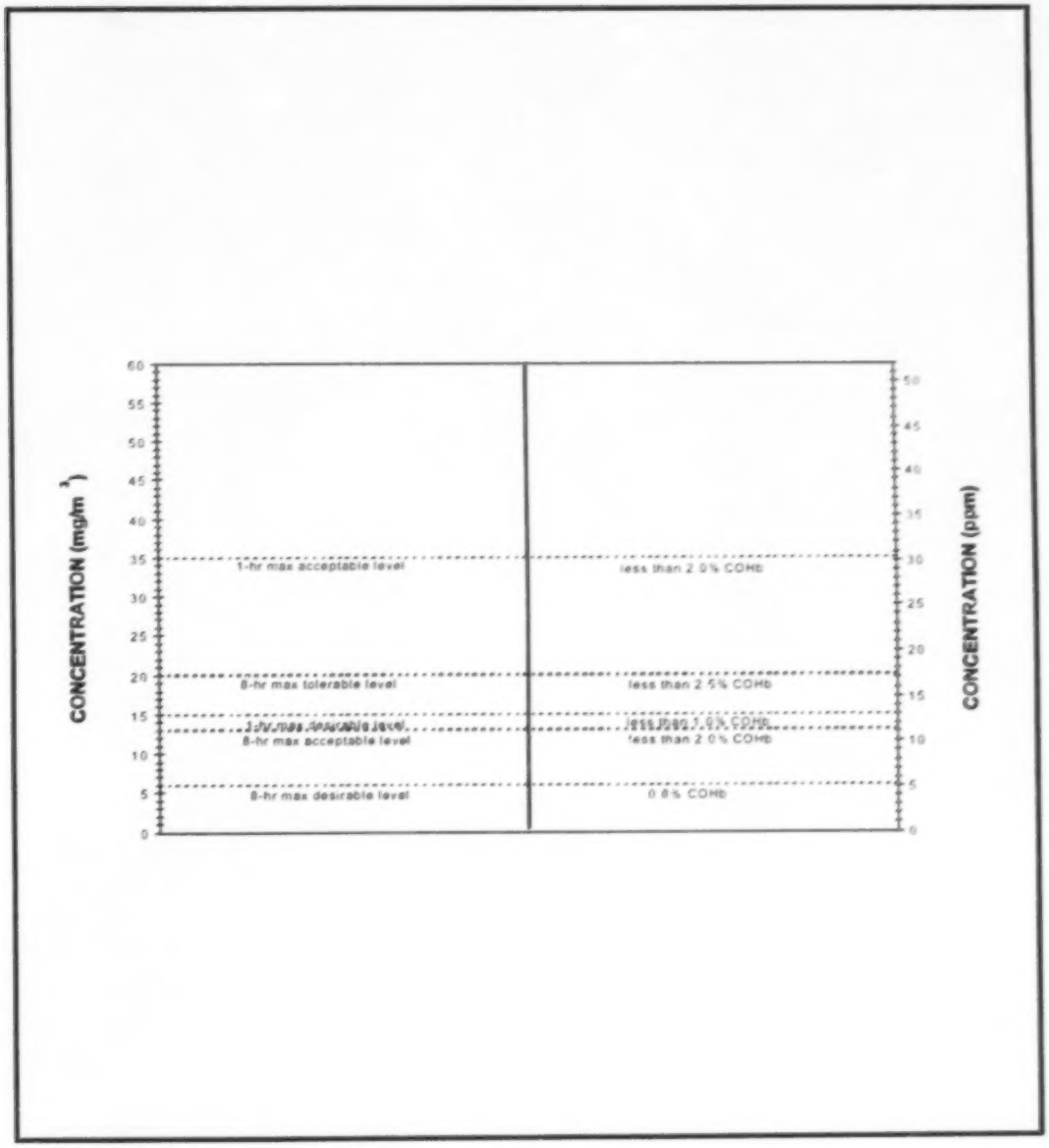
The recommended maximum tolerable level for an 8 hour exposure could be based on the lowest observed adverse effect level (LOAEL) of 2.9% COHb observed in the same experiments cited previously. This level would be approximately 21 ppm. However, the current tolerable level of 17 ppm is sufficiently close to this value to be retained as the objective.

The recommended maximum tolerable level of 17 ppm averaged over 8 hours will result in a COHb level of about 2.5% as projected by the CFK model. This is still below the COHb levels believed to result in cardiorespiratory effects in the general population. Moreover, it is considered to be slightly more protective in accounting for non-standard conditions and people at the high end of the distribution curve for parameters used in the CFK equation. However, owing to a diminishing margin of safety within the tolerable range, action is recommended without delay when air quality exceeds the highest concentration of this range to protect the health of sensitive subgroups.

The averaging times chosen for the maximum desirable, acceptable, and tolerable ranges of carbon monoxide in ambient air are 1 and 8 hours. The latter averaging time approximates the length of time during which people may be exposed to carbon monoxide continuously in a particular location (e.g., work, sleep). More importantly, most individuals approach equilibrium levels of COHb in the blood after about 8–12 hours of exposure to (Anderson et al., 1973). Owing to the possibility of missing some events (high levels of carbon monoxide exposure) using a continuous averaging time, rolling averages are recommended for the calculation of the 8-hour averages. The 1-hour averaging period is intended to be protective for effects that might occur following short exposures to high concentrations of carbon monoxide.

The five air quality objectives for carbon monoxide recommended in this report are illustrated in Figure 2, together with their associated COHb levels as projected by the CFK model.

Figure 2. **Recommended National Ambient Air Quality Objectives for Carbon Monoxide and Predicted COHb Levels**



Canada

OJECTIFS NATIONAUX DE QUALITÉ DE L'AIR AMBIANT QUANT AU MONOXYDE DE CARBONE

Niveaux souhaitables, acceptables et tolérables

SOMMAIRE

Un rapport préparé par le groupe de travail fédéral-provincial de la LCPE sur les objectifs et les lignes directrices de la qualité de l'air

Ce document est publié sous l'article 8 de la loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE). Tous les renseignements concernant cette publication ou des demandes de copies doivent être adressés directement aux personnes suivantes :

Directeur
Évaluation de la science et intégration
des politiques
Service de l'environnement atmosphérique
4905 rue Dufferin
Downsview (Ontario) M3H 5T4

Directeur
Bureau des dangers des produits chimiques
Centre d'hygiène du milieu
Santé Canada
Pré Tunney
Ottawa (Ontario) K1A OL2

Les personnes suivantes ont rédigé le présent rapport :

F. Hopper (Service de l'environnement atmosphérique)
S. MacDonald (Santé Canada)
M. Shepherd (Service de l'environnement atmosphérique)
K. Wilby (Santé Canada)
P. Wong (Ministère de l'environnement et de l'énergie)

Le groupe de travail sur les objectifs et les lignes directrices de la qualité de l'air tient à remercier les personnes suivantes de leur précieuse aide dans la production de ce rapport:

M. Bourgeau (Santé Canada)
B. Jessiman (Santé Canada)
G. Wood (Santé Canada)

Novembre 1994
ISBN: 0-662-25642-5
Catalogue: EN42-17/1-1997E

Contexte

La *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE), adoptée en 1988, remplace et renforce la *Loi sur les contaminants de l'environnement.* La déclaration d'ouverture de la Loi affirme que «la protection de l'environnement est essentielle au bien-être de la population du Canada.» La LCPE permet donc au gouvernement fédéral d'évaluer des substances et d'en régir les incidences par l'entremise d'objectifs, de directives, de codes de pratique et(ou)de règlements nationaux en matière de qualité de l'environnement.

Les gouvernements provinciaux ont la responsabilité première dans de nombreux secteurs de la lutte contre la pollution atmosphérique, les actions du fédéral étant intégrées à celles des provinces. Le Groupe de travail fédéral/provincial de la LCPE sur les objectifs et les lignes directrices de la qualité de l'air, composé de représentants des ministères fédéraux, provinciaux et territoriaux de l'environnement et de la santé, étudie et recommande des objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant. L'établissement de ces objectifs se fait selon un processus intégrant l'étude des propriétés et des sources physiques et chimiques; les effets des substances visées sur la santé de l'environnement, des animaux et de l'homme; une évaluation de l'exposition de la population et de l'environnement dans un cadre d'évaluation du risque.

Les objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant du Canada (ONQAA)précisent des valeurs cibles pour la qualité de l'air, mesurées au récepteur pertinent (personnes, végétaux, animaux, matériaux). Le processus peut aussi intégrer certains éléments de l'analyse des coûts, des avantages et des risques, témoignant d'une approche de protection de la santé de l'environnement et de réduction des risques à long terme, tout en reconnaissant l'existence de limites technologiques et économiques. Il est donc possible que les objectifs qui en résultent soient fixés à un niveau au-delà duquel aucun effet n'est observé. Les objectifs sont fixés de manière à présenter l'état actuel des connaissances, à fournir une échelle uniforme d'évaluation de la qualité de l'air dans tout le Canada et à aider les gouvernements à prendre des décisions de gestion du risque, comme la planification de stratégies de lutte et l'établissement de normes locales.

Il y a trois niveaux d'objectifs relatifs à la qualité de l'air :«souhaitable»,«acceptable» et «tolérable». Les valeurs numériques applicables aux niveaux de contaminant les plus élevés dans chacune des catégories sont basées sur les définitions qualitatives suivantes:

- Le **niveau maximum souhaitable** définit l'objectif à long terme de la qualité de l'air et fournit une base pour l'établissement d'une politique de préservation applicable aux régions canadiennes non polluées, et pour l'élaboration continuelle des techniques de lutte.

- Le **niveau maximum acceptable** doit fournir une protection appropriée contre les effets de la pollution sur le sol, l'eau la végétation, les matériaux, les animaux la visibilité, le confort et le bien-être des humains.

- Le **niveau maximum tolérable** indique les concentrations, en fonction du temps, de contaminants atmosphériques au-delà desquelles, vu la marge de sécurité qui va en diminuant, des mesures appropriées doivent être prises sans retard pour protéger la santé de la population en général.

L'établissement des objectifs de qualité de l'air est un processus dynamique et continu. Les objectifs de qualité de l'air ambiant ont été publiés dans la Gazette du Canada Partie I du 12 août, 1989. Aucune modification n'a été apportée aux objectifs formulés entre 1974 et 1978 (Pêches et Océans, 1971).

Ce rapport passe en revue les données scientifiques sur lesquelles reposent les niveaux souhaitables, acceptables et tolérables quant au monoxyde de carbone (CO) obtenues par le groupe de travail fédéral/provincial de la LCPE sur les objectifs et les lignes directrices de la qualité de l'air.

Résumé des preuves scientifiques

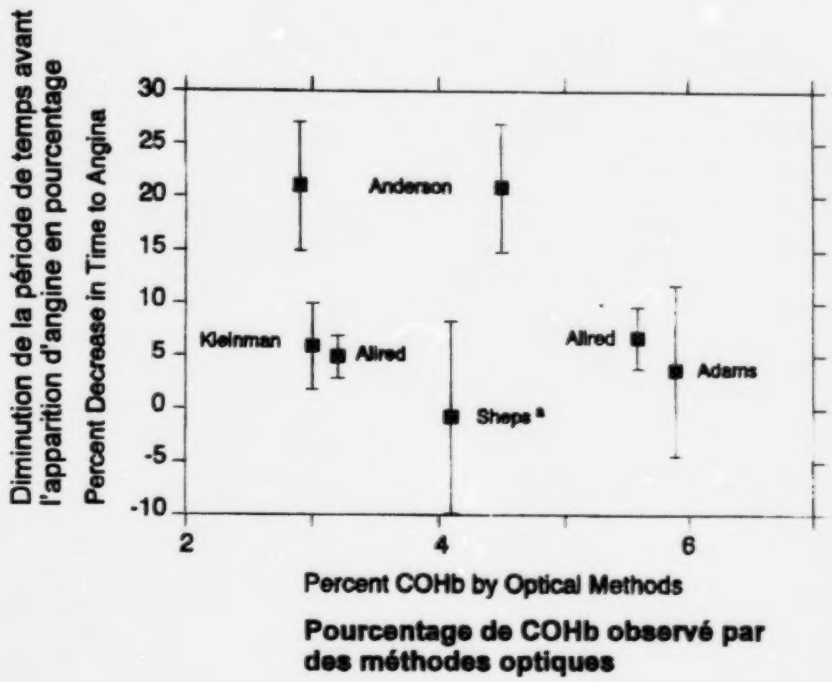
Les effets cardio-respiratoires chez les personnes atteintes d'ischémie myocardique induite par l'effort constituent la plus grande préoccupation en matière de santé. La figure 1 présente l'effet produit par l'exposition du monoxyde de carbone sur la période de temps avant l'apparition d'angine contenu dans cinq études clées mentionnées ci-haut dans la section intitulée «Effets sur la santé humaine.» La figure tient compte des plus importantes différences entre les études en présentant les données comme des différences de moyennes en pourcentage entre les expositions à l'air et les expositions au monoxyde de carbone pour les sujets individuels de chaque étude et en utilisant des niveaux de COHb qui ont été mesurés à la fin de la période d'exposition au monoxyde de carbone par des méthodes optiques uniquement. Dans ces conditions, les cinq études indiquent une relation constante entre des niveaux croissants de COHb et la période de temps avant l'apparition de l'angine. Les niveaux après l'exposition s'échelonnant entre 2,9 et 5,9 % et représentant des augmentations supplémentaires de 1,5 à 4,4 % par rapport aux niveaux de base avant l'exposition sont présentés.

On doit cependant interpréter ces étendues avec prudence, en raison des conceptions différentes des études et de le manque de précision des mesures optiques du COHb à des bas niveaux de COHb dans le sang. Par ailleurs, les études sur les effets cardio-respiratoires sont difficiles à interpréter en raison des particularités dans les conceptions des études, du type de test d'effort utilisé, des critères utilisés pour déterminer les patients à inclure dans l'étude et des conditions d'exposition (EPA des É.-U., 1991). La période au cours de laquelle on mesure les niveaux de

COHb (p.ex. à la fin de la période d'exposition au monoxyde de carbone ou au moment de l'apparition de l'angine) et les méthodes employées pour mesurer les niveaux de COHb (p.ex. la chromatographie gazeuse ou la spectrophotométrie) donnent des résultats différents et rendent la comparaison des niveaux de COHb indiqués dans des études différentes difficile. Mennear (1993), par exemple, soutient que la méthode chromatographique gazeuse utilisée pour mesurer le COHb dans l'étude de Allred et. coll. (1989) est peut-être plus précise que la technique spectrophotométique qu'on utilise en général, mais qu'elle donne une valeur plus basse quant au COHb, tel qu'indiqué par le fait que le niveau de base du COHb contenu dans l'étude Allred et coll.(1989) est environ la moitié de la valeur de base normale.

Certains prétendent que les réductions de la capacité de faire un effort qu'on associe à l'exposition au monoxyde de carbone ne sont pas cliniquement significatives, puisque les changements sont minimes par rapport à l'étendue de reproductibilité de tests d'effort utilisés dans des études variées. D'autres maintiennent que les effets, s'ils sont réels, pourraient limiter les activités quotidiennes des individus sensibles et nuire à leur qualité de vie. Les études qui indiquent une relation entre des bas niveaux de COHb et l'arythmie induite par l'effort chez les patients atteints de coronaropathie laissent supposer que l'exposition au monoxyde de carbone pourrait accroître le risque de mort soudain induite par l'arythmie. La relation dose-effet entre COHb et l'ischémie signalée par Allred et coll. (1989) portent à croire que des petites augmentations des niveaux du COHb pourraient nuire à la fonction du myocarde et causer l'ischémie, et que cette relation pourrait être sans seuil.

Figure 1. **L'effet produit par l'exposition au monoxyde de carbone sur la période de temps avant l'apparition d'angine selon cinq études clées**



Source: U.S. EPA, 1991

N.B. Les données sont présentées comme des différences de moyenne en pourcentage entre les expositions à l'air et au monoxyde de carbone pour les sujets individuels calculées à partir de chacune des études. Les barres indiquent les erreurs-types calculées de la moyenne. Une autre analyse des données de Sheps indique une diminution considérable de la période de temps avant l'apparition d'angine, soit un COHb de 4,1 % si les sujets qui n'ont pas souffert d'une angine induite par l'effort pendant la période de l'exposition à l'air étaient inclus dans l'analyse.

Préoccupation quant aux niveaux de COHb

On a régulièrement observé des effets cardio-respiratoires à des niveaux de COHb en deçà de 6 % dans le sang et associé ces effets à des expositions de monoxyde de carbone à des niveaux observés dans l'air ambiant. Par contre, on n'a pas signalé d'effet sur le comportement neurologique ou d'effet toxique sur le développement chez les humains en deçà des niveaux de

COHb de 5 %. Un niveau de COHb dans le sang aussi bas que 2,9 % pourrait être associé à des effets cardio-respiratoires nuisibles chez des individus atteints d'ischémie du coeur. Mennear (1993) a passé en revue la littérature dans une étude portant sur une relation éventuelle entre l'exposition au monoxyde de carbone issue de la fumée de cigarette trouvée dans l'environnement et l'exacerbation de l'ischémie du coeur. Il a conclu qu'un niveau de COHb de 2,5 % dans le sang était une estimation prudente d'un niveau sans effet quant à la toxicité du monoxyde de carbone, même chez les personnes atteintes d'ischémie du coeur. Bien que l'étude d'Allred et coll.(1989) signale un plus bas niveau produisant un effet nocif, soit de 2,0 %, tel que mesuré par chromatographie gazeuse à la fin du test d'effort, on a contesté la technique de mesure utilisée à cause de son manque de précision en mesurant des niveaux absolus de COHb (Mennear, 1993). Par conséquent, on s'attend à ce que les objectifs formulés dans le but de protéger le sous-groupe de la population qui est sensible aux effets cardio-respiratoires fournissent une marge de sécurité adéquate pour l'ensemble de la population en ce qui concerne les effets toxiques sur le comportement neurologique et le développement.

Compte tenu des incertitudes contenues dans les données disponibles et en utilisant les hypothèses de base les plus prudentes, on recommande que le niveau maximum souhaitable soit établi de manière à ce qu'il représente un niveau de COHb de moins de 1 % dans le sang, ce qui est considéré comme étant à la limite supérieure de l'étendue des niveaux de COHb de base provenant de la production endogène chez les individus normaux qui ne fument pas (Urbanetti, 1981). Le niveau maximum acceptable doit être établi de manière à ce qu'il représente un niveau de COHb de 2 % dans le sang, ce qui est le niveau minimal produisant un effet nocif observé (LOEL) mesuré par chromatographie gazeuse à la fin de la période d'effort (Allred et coll., 1989). On peut considérer que ce niveau fournit une marge de sécurité puisqu'il est un tiers plus bas que le niveau de COHb de 3 % (mesuré par des méthodes optiques à la fin de la période d'exposition) qu'on a suggéré comme LOEL (Anderson et coll., 1973, Kleinman et coll.,1989 et Allred et coll.,(1989). Le niveau maximum tolérable doit être établi de manière à ce qu'un niveau de COHb d'environ 2,5 % dans le sang, ce qui est considéré comme un niveau sans effet nocif observé chez la population selon la plupart des études (p.ex Mennear), ne soit pas dépassé.

Le modèle PBPK de Coburn, Forster et Kane constitue une méthode fiable pour prévoir les niveaux de COHb dans le sang quant à l'exposition à une concentration donnée de monoxyde de carbone. Ce modèle a été largement validé pendant bien des années. La précision est acceptable, à condition que les conditions originales d'utilisation soient appliquées. Le niveau de COHb dans le sang est influencé par le niveau de COHb de base, le niveau d'hémoglobine sanguine, la ventilation minuscule, la capacité de diffusion des poumons et la tension moyenne d'oxygène dans les capillaires pulmonaires (Coburn et coll., 1965), ce qui varie chez les membres de la population. Une conséquence de ces facteurs est que l'exposition à la même concentration de monoxyde de carbone peut entraîner des niveaux différents de COHb chez différents individus. L'exposition est une fonction des concentrations de monoxyde de carbone dans l'air ambiant et

l'air de l'intérieur, la durée de l'exposition au monoxyde de carbone, ainsi que les niveaux initiaux de COHb, de manière à ce que les différences des niveaux de COHb chez la population peuvent être attribuées aux différences des niveaux d'exposition et à l'étendue d'expositions à laquelle on a été soumis.

Exposition au monoxyde de carbone

On a clairement présenté l'impact des sources intérieures sur l'exposition et sur les niveaux de COHb à Toronto. Des études relevant le temps dans lequel s'accomplit certaines activités ont révélés qu'en général les gens passent 20 heures à l'intérieur et 4 heurs à l'extérieur (EPA des É.-U, 1991). En général, les gens sont soumis à des niveaux de monoxyde de carbone variés durant leurs activités quotidiennes normales tout en allant d'une biocénose à une autre. Les résultats de l'étude de Denver-Washington ont indiqué que les effets de l'activité individuelle et des sources intérieures produisent un impact considérable sur l'exposition individuelle (Akland et coll.,1985). Cuisiner à gaz augmente l'exposition individuelle au monoxyde de carbone tout comme travailler dans un bureau ou cohabiter avec des fumeurs (Ott et coll., 1988). Des résidents de Los Angeles ont été exposés à une moyenne de 2,1 ppm (Lambert et coll.,1988) tout en dormant dans leurs chambres à coucher, et des résidents de Denver ont été exposés à une moyenne de 1,5 % ppm (n=6681) (Ott et coll.,1988). Il s'ensuit que le temps qu'on passe à l'intérieur représente une importante voie d'exposition au monoxyde de carbone. Les niveaux de monoxyde de carbone trouvés à l'intérieur sont influencés par ceux de l'extérieur, les taux de ventilation et d'infiltration, des sources intérieures, et par un mélange d'air entre et dans les pièces (EPA des É.U.,1991). Les niveaux de monoxyde de carbone issus de l'extérieur sont une fonction de la catégorie du transport, qui représente environ 67 % des émissions nationales de monoxyde de carbone (Kosteltz et Deslauriers,1990)

Les résultats des études effectuées sur le terrain ont également indiqué que les niveaux de monoxyde de carbone déterminés à l'aide d'appareils de surveillance personnels (PEM) étaient supérieurs à ceux relevés à des postes de surveillance stationnaires (Akland et coll., 1985; Holland, 1983; Ott & Flachsbart, 1982). Les estimations d'exposition pour la population de Toronto en 1991 indiquent que moins de 1 % de la population a subi des moyennes maximales d'exposition quotidienne d'une heure supérieures à 25 ppm; environ 2 % ont subi des moyennes maximales d'expositions quotidiennes au monoxyde de carbone de huit heures supérieures à 13 ppm. Lorsqu"on a comparé ces résultats aux excédents relevés aux postes de surveillance stationnaires, on trouvait qu'il y avait un rapport entre ceux-là et la moyenne de huit heures des concentrations et des expositions individuelles. La moyenne d'une heure des expositions au monoxyde de carbone n'était pas étroitement liée aux concentrations relevées aux appareils stationnaires.

Ces résultats, et les autres présentés ci-haut, indiquent que l'exposition individuelle au monoxyde de carbone ne correspond pas directement aux concentrations ambiantes de monoxyde de carbone recueillies par les appareils stationnaires. Durant leurs activités quotidiennes normales, les gens se déplacent d'une biocénose à une autre. Comme on l'a déjà constaté, les niveaux de

monoxyde de carbone dans chacune de ces biocénoses sont différents, de manière à ce que les gens soient soumis à de différentes expositions quotidiennes de monoxyde de carbone. La plus grande exposition au monoxyde de carbone pour la plupart des gens survient dans l'automobile et dans des biocénoses intérieures associées à des sources de combustion (EPA des É.-U.,1991). Même si ces études ont été réalisés aux États-Unis, elles constituent tout de même de très bons indicateurs des niveaux de monoxyde de carbone auxquels les Canadiens pourraient être exposés dans de diverses biocénoses.

Population à risque

La combinaison du style de vie et des facteurs génétiques augmente les chances pour qu'il y ait des effets sur la santé provenant d'exposition au monoxyde de carbone. L'âge, le comportement, les différents modes d'activités, le sexe et d'autres facteurs qui déterminent l'aptitude d'un individu à se protéger contre les agressions environnementaux entraînent une variété de réactions.

Les preuves présentement disponibles suggèrent que les individus atteints de maladies du coeur, notamment d'une angine stable induite par l'effort, de coronaropathie et d'ischémie du coeur, représentent la population à plus grande risque de l'exposition aux niveaux de monoxyde de carbone ambiants. En outre, les groupes démographiques ayant une probabilité accrue de subir des effets sur la santé ou de subir une aggravation de ces effets incluent les femmes enceintes, les foetus et poupons, les personnes atteintes d'anémie ou de maladies respiratoires, les aînés, les enfants et les personnes atteintes d'acrosyndrome et de bronchopneumopathie chronique obstructive.

Les études approfondies sur l'exposition individuelle qu'on a effectuées sur le terrain ont révélé que les personnes qui travaillaient à l'extérieur de la maison, les personnes soumises à une exposition professionnelle élevée (chauffeurs de camions, chauffeurs de taxi, chauffeurs d'autobus, mécaniciens de voitures, garagistes, policiers) et les personnes qui faisaient la navette-en particulier celles qui voyageaient > 6 heures par semaine-avaient des expositions considérablement plus élevées (ppm=0,05) que leurs homologues respectifs (Akland et coll.,1985; Johnson, 1984). De plus, il est possible que les athlètes professionnels et amateurs, les spectateurs et les travailleurs soient exposés à des niveaux élevés de monoxyde de carbone dans les plus de 2 000 centres sportifs du Canada.

Recommandations

Le choix des objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant en matière de monoxyde de carbone repose sur la signification clinique des effets préoccupants sur la santé, le nombre de personnes qui ont besoin de protection et la relation entre les niveaux de COHb, l'exposition et les niveaux de monoxyde de carbone ambiants.

Les niveaux de COHb représentent un biomarqueur en matière de toxicité causée par des expositions à des niveaux ambiants de monoxyde de carbone, et ils sont utilisés comme indicateur de l'exposition au monoxyde de carbone. Bien que plus de recherche soit nécessaire pour évaluer les capacités prévisionnelles du modèle CFK chez des individus qui sont exposés à des concentrations peu élevées de monoxyde de carbone et son applicabilité à un sous-groupe démographique sensible (EPA des É.-U.,1991), à l'heure actuelle il est le meilleur modèle disponible, et on l'utilisera dans le présent document pour calculer les objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant appropriés en matière de monoxyde de carbone. Il ne faut tout de même pas oublier que les modèles fournissent des estimations qui sont basées sur un petit nombre de mesures représentatives.

Objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant recommandés pour le monoxyde de carbone, ppm(mg/m^3)[a]

Périodes de temps moyennes	Niveaux maximum souhaitable		
1 heure	13 (15)	30(35)	s/o
8 heures[b]	5 (6)	13 (15)	17,4 (20)

[a] 1 ppm=1,146 mg CO/m^3

[b] moyenne glissante

Les niveaux maximum souhaitables sont basés sur la concentration de monoxyde de carbone qui entraînera un niveau de COHb dans le sang de moins de 1 %, ou à la limite supérieure de l'étendue des niveaux de COHb de base provenant de la production endogène. Selon l'équation de Coburn-Foster-Kane (CFK), une exposition d'une heure de 13 ppm ou une exposition de huit heures de 5ppm entraîneraient un COHb de moins de 1 %.

Les niveaux maximum acceptables recommandés en matière de monoxyde de carbone sont une moyenne d'une heure à 30 ppm et une moyenne glissante de huit heures à 13 ppm. Les résultats tirés de cinq récentes études effectuées par trois laboratoires ont régulièrement indiqué des effets nocifs de niveaux de COHb allant de 2,9 % à 6 % (tels que mesurés par l'oxymètre de CO) ou aussi bas que 2 % (tels que mesurés par chromatographie gazeuse) produits sur une angine induite par l'effort et sur des valeurs obtenues par électrocardiogramme (ECG). La moyenne de huit heures à 13 ppm des niveaux de CO ou la moyenne d'une heure à 30 ppm ont entraînées des niveaux de COHb à 2 % ou moins pour les adultes faisant du travail léger (une ventilation de 18 l/mn).

Par conséquent, les niveaux maximum acceptables sont fondés sur le maintien des niveaux de COHb à moins de 2 %, ce qui fournit une petite marge de sécurité. Aux niveaux supérieurs à ces concentrations, il faudrait prendre des mesures pour diminuer la probabilité ou la sévérité des effets chez des populations sensibles. Les estimations obtenues par le modèle pNEM indiquent que moins de 1 % de la population qui a participé à l'étude de la région torontoise sera soumis à des niveaux de COHb supérieurs à 2 % si la qualité de l'air ambiant est moins ou égale à 13 ppm (15mg/m^3) mesurée pendant une période de 8 heures.

Le niveau maximum tolérable recommandé pour une exposition de 8 heures pourrait être basé sur un niveau minimal produisant un effet nocif observé (LOAEL) de 2,9 % de COHb qu'on a observé dans les mêmes expériences citées ci-haut. Ce niveau serait environ 21 ppm. Cependant, le niveau tolérable actuel de 17 ppm est assez près de cette valeur pour qu'on la retienne comme objectif.

La moyenne de 8 heures à 17 ppm comme niveau maximum tolérable recommandé entraînera un niveau de COHb d'environ 2,5 % tel que prévu par le modèle de CFK. Ce niveau est toujours inférieur aux niveaux de COHb qu'on juge responsables d'entraîner des effets cardio-respiratoires chez l'ensemble de la population. Par ailleurs, on considère que ce niveau est un peu plus efficace en ce qui concerne la protection des gens atteints de conditions exceptionnelles et des gens qui se situent à la limite supérieure de la courbe de distribution pour les paramètres utilisés dans l'équation de CFK. Cependant, en raison d'une marge de sécurité décroissante au sein de l'étendue tolérable, on recommande que des mesures soient prises sans retard lorsque la qualité de l'air dépasse la concentration la plus élevée de cette étendue afin de protéger la santé des sous-groupes à risque.

Les moyennes des périodes de temps qu'on a choisi pour les étendues maximales souhaitables, acceptables et tolérables de monoxyde de carbone dans l'air ambiant sont de 1 et 8 heures. Cette dernière représente à peu de choses près la durée à laquelle les personnes peuvent être exposées sans interruption au monoxyde de carbone dans un endroit précis (p.ex. au bureau, au lit). Ce qui est plus important, la plupart des individus s'approchent des niveaux équilibrés de COHb dans le sang après une exposition au monoxyde de carbone d'environ 8 à 12 heures (Anderson et coll, 1973). En raison de la possibilité de manquer certains événements (des niveaux élevés d'exposition au monoxyde de carbone) en utilisant une moyenne de temps continuelle, on recommande l'utilisation de moyennes glissantes pour calculer les moyenne de 8 heures. La moyenne de la période d'une heure est destinée à protéger contre les effets qui pourraient survenir à la suite de courtes expositions à des concentrations élevées de monoxyde de carbone.

Les cinq objectifs de qualité de l'air en matière de monoxyde de carbone recommandés dans le présent rapport sont présentés à la figure 2, avec leurs niveaux correspondants de COHb tels que prévus par le modèle de CFK.

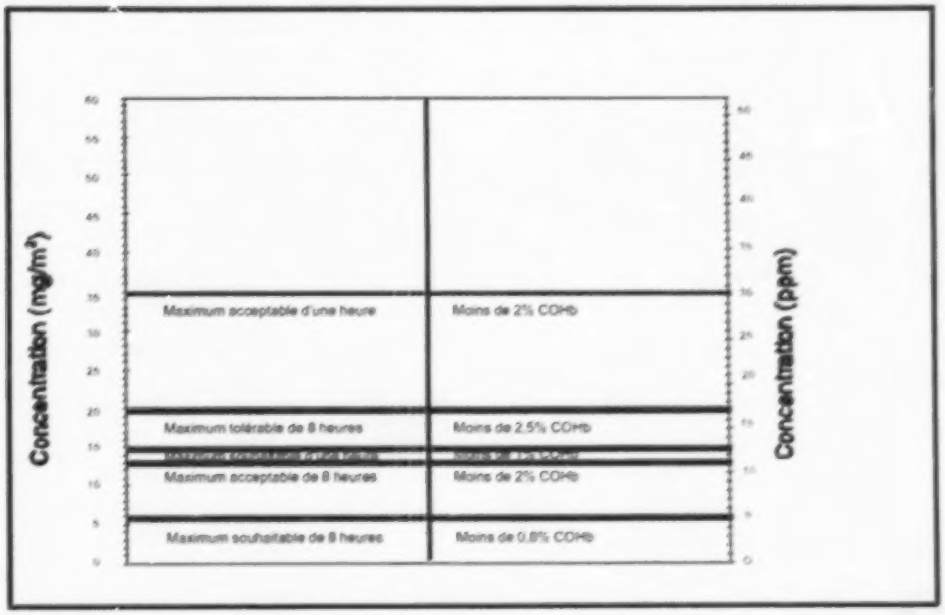



Figure 2. **Objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant recommandés en matière de monoxyde de carbone et de niveaux prévus de COHb**